

10/590677
IAP5 Rec'd PCT/PTO 25 AUG 2006

Verfahren und Einrichtung zum Erzeugen von Steuerungsdatensätzen für die Herstellung von Produkten durch Freiform-Sintern bzw. -Schmelzen sowie Vorrichtung für diese Herstellung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Einrichtung zum Erzeugen von Steuerungsdatensätzen für die Herstellung von metallischen und/oder nicht-metallischen Produkten, insbesondere Dentalprodukten oder medizinischen Produkten, durch Freiform-Sintern und/oder -Schmelzen mittels eines hoch-energetischen Strahls, insbesondere Laser- oder Elektronenstrahls, wobei ein Produkt mittels dieses anhand eines Steuerungsdatensatzes geführten Strahls aus einem schichtweise aufzubringenden Werkstoff Schicht für Schicht aufgebaut wird. Das Verfahren umfasst dabei die Schritte des Einlesens eines Produktsollgeometriedatensatzes, der die Sollgeometrie des herzustellenden Produkts repräsentiert und des Erzeugens des Steuerungsdatensatzes ausgehend von dem Produktsollgeometriedatensatz. In entsprechender Weise weist die Einrichtung zum Erzeugen von Steuerungsdatensätzen Mittel zum Einlesen eines Produktsollgeometriedatensatzes, der die Sollgeometrie des herzustellenden Produkts repräsentiert, und Mittel zum Erzeugen des Steuerungsdatensatzes ausgehend von dem Produktsolldatensatz auf.

Die Erfindung betrifft ferner eine Vorrichtung zum Herstellung derartiger Produkte durch Freiform-Sintern und/oder -Schmelzen mittels eines hochenerge-

tischen Strahls, insbesondere Laser- oder Elektronenstrahls, wobei die Vorrichtung aufweist: eine Strahlquelle zum Erzeugen dieses Strahls, eine Plattform zur Aufnahme eines schichtweise aufbringbaren Werkstoffs und eine Steuerung zum Steuern des Strahls, mittels derer der Strahl datengesteuert 5 geführt werden kann, um ein Produkt aus dem Werkstoff Schicht für Schicht aufzubauen.

Derartige Verfahren, Einrichtungen und Vorrichtungen sind bekannt. Sie werden unter anderem im Bereich der Herstellung von Dentalprodukten, wie beispielweise Zahnkronen, Zahnbrücken, Implantaten, etc. eingesetzt. Sie können aber auch für andere Produkte verwendet werden. 10

Regelmäßig werden jedoch an die Präzision und Maßhaltigkeit derartiger Produkte hohe Anforderungen gestellt. Insbesondere im Bereich der Herstellung 15 von Dentalprodukten werden Genauigkeiten von weniger als einem Zehntel Millimeter angestrebt. Derart hohe Genauigkeiten werden jedoch von den bekannten Sinter- bzw. Schmelzsystemen nicht in ausreichendem Maße erzielt.

Der Erfindung liegt daher das technische Problem zugrunde, die Maßhaltigkeit 20 der durch Freiform-Sintern und/oder -Schmelzen mittels eines hochenergetischen Strahls, insbesondere Laser- oder Elektronenstrahls, hergestellten Produkte zu verbessern.

Die Erfindung löst dieses Problem bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch, dass dieses Verfahren ferner die Schritte des Ermittelns eines 25 Kompensationsdatensatzes und/oder einer Kompensationsfunktion zur Kompensation von durch das Sintern und/oder -Schmelzen bedingten fertigungstechnischen Einflüssen und des Verknüpfens des Kompensationsdatensatzes und/oder Anwendens der Kompensationsfunktion auf den Produktsollgeometriedatensatz zum Erzeugen des Steuerungsdatensatzes aufweist. 30

Die Erfindung löst dieses Problem ferner durch eine Einrichtung der eingangs genannten Art, die Mittel zum Ermitteln eines Kompensationsdatensatzes

und/oder einer Kompensationsfunktion zur Kompensation von durch Sintern und/oder -Schmelzen bedingten fertigungstechnischen Einflüssen und Mittel zum Verknüpfen des Kompensationsdatensatzes und/oder Anwenden der Kompensationsfunktion auf den Produktsollgeometriedatensatz zum Erzeugen
5 des Steuerungsdatensatzes aufweist.

Schließlich löst die Erfindung dieses Problem durch eine Vorrichtung der ein-
gangs genannten Art, bei der die Steuerung eine vorstehend bezeichnete Ein-
richtung zum Erzeugen von Steuerungsdaten zum Führen des Strahls auf-
10 weist.

Die Erfindung hat erkannt, dass fertigungstechnisch bedingte Einflüsse, das heißt durch Sintern und/oder -Schmelzen mittels eines hochenergetischen Strahls bedingte Einflüsse, die Maßhaltigkeit der herzustellenden Produkte
15 negativ beeinflussen können.

Beim Freiform-Sintern bzw. -Schmelzen mittels eines hochenergetischen Strahls wird ein Produkt dadurch gebildet, dass ein hochenergetischer Strahl, bspw. Laserstrahl oder Elektronenstrahl, einen in der Regel pulverförmig vor-
20 liegenden Werkstoff abschnittsweise bestrahlt, wodurch der Werkstoff erhitzt und aufgeschmolzen wird, so dass er sich mit dem jeweils benachbarten Werkstoff verbindet.

Dieser schichtweise Aufbau führt jedoch dazu, dass bei Produkten mit zur
25 Horizontalen bzw. Vertikalen geneigten (seitlichen) Abschnitten eine neu auf-
zubringende Schicht sich in einen Bereich erstreckt, unterhalb dessen sich
kein Abschnitt des herzustellenden Produkts befindet. Das heißt die neu her-
zustellende Schicht steht seitlich gegenüber der zuvor hergestellten Schicht
hervor.

30 Die Erfindung hat aber erkannt, dass in diesen hervorstehenden Bereichen aufgeschmolzenes Werkstoffmaterial sich in den Bereich der darunter liegen-
den Schicht erstreckt. In diesem Bereich entstehen sogenannte Schmelzku-

geln, das heißt kugel- bzw. teilkugelförmige Ausstülpungen des Produkts, welche die Abmessungen des Produkts verfälschen. In diesen Bereichen wird das Produkt dadurch dicker als ursprünglich geplant.

- 5 Die Erfindung hat ferner erkannt, dass infolge des schichtweisen Aufbaus und des Verbindens von Schichten unterschiedlicher Temperatur wegen einer unterschiedlichen Wärmeausdehnung innerhalb der verschiedenen Schichten Spannungen innerhalb der Schichten entstehen. Diese Spannungen führen zu Verformungen, sobald das Produkt von einem Träger, der sogenannten Substratplatte, gelöst wird.
- 10

Die durch diese beispielhaft aufgezeigten Einflüsse entstehenden Veränderungen des tatsächlich hergestellten Produkts gegenüber dem geplanten Produkt werden gemäß der Erfindung dadurch kompensiert, dass zunächst ein Kompensationsdatensatz und/oder eine Kompensationsfunktion ermittelt wird.

15 Anschließend wird dieser Kompensationsdatensatz mit dem Datensatz der Produktsollgeometrie verknüpft bzw. die Kompensationsfunktion auf diesen Produktsollgeometriedatensatz angewendet um den Steuerungsdatensatz zu erzeugen, mittels dessen der hochenergetische Strahl während des Sinters und/oder Schmelzens geführt wird.

20 Dank der somit ermittelten Kompensationsfunktion bzw. des Kompensationsdatensatzes können die negativen fertigungstechnischen Einflüsse des Sinters bzw. Schmelzens mittels eines hochenergetischen Strahls weitgehend ausgeglichen werden, so dass die Maßhaltigkeit substantiell erhöht werden kann.

25 Bevorzugt wird der Kompensationsdatensatz bzw. die Kompensationsfunktion in Abhängigkeit von der Größe und der Form bzw. einem Neigungswinkel einer tangential an einer äußeren Oberfläche des herzustellenden Produkts anliegenden Ebene zu einer Bezugsebene, bspw. einer horizontalen BezugsEbene, ermittelt. Dabei wird insbesondere eine senkrecht zu dieser tangentialen Ebene bestimmte Dicke des herzustellenden Produkts mittels des Kom-

pensationsdatensatzes bzw. der Kompensationsfunktion in Abhängigkeit dieses Neigungswinkels reduziert. Auf diese Weise kann der Einfluss der o.g. Schmelzkugeln bzw. Schmelzeiteilkugeln auf die Dicke des herzustellenden Produkts bzw. Produktabschnitts ausgeglichen werden. Etwaige Fehler 5 bezüglich der Abmessungen des Produkts, insbesondere im Bereich geneigter Abschnitte, werden somit weitestgehend vermieden.

Bevorzugt ist die Kompensationsfunktion stetig und differenzierbar. Insbesondere weist die Kompensationsfunktion ein Polynom zweiten, dritten, vierten 10 und/oder höheren Grades auf. Es hat sich gezeigt, dass mittels einer derartigen Kompensationsfunktion die Effekte der unterschiedlichen temperaturbedingten und geometriebedingten Spannungen, die durch den schichtweisen Aufbau des Produkts entstehen, zufriedenstellend kompensiert werden können.

15 Bei einer besonderen Ausführungsform werden mehrere Kompensationsfunktionen jeweils für unterschiedliche Bereiche des herzustellenden Produkts verwendet. Bei einer weiteren Ausführungsform ist der Grad des Polynoms einer solchen Kompensationsfunktion ebenfalls abhängig von dem jeweiligen 20 Bereich des herzustellenden Produkts.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird für Bereiche des herzustellenden Produkts mit einfacher Geometrie ein Polynom niedrigen Grades und für Bereiche des herzustellenden Produkts mit komplexerer Geometrie ein 25 Polynom höheren Grades verwendet. Der Grad des jeweiligen Polynoms bestimmt auch den Rechenaufwand. Der Rechenaufwand steigt naturgemäß mit dem Grad des Polynoms. Daher wird vorteilhafterweise nur ein derartiges Polynom verwendet, das einen möglichst geringen Grad aufweist, so dass zufriedenstellende Kompensationsergebnisse erreicht werden können. Da die 30 Effekte der temperaturbedingten Spannungen aber von der Geometrie des herzustellenden Produkts abhängen, sind die Auswirkungen dieser Spannungen an unterschiedlichen Bereichen des herzustellenden Produkts ebenfalls unterschiedlich. Es genügt daher in der Regel bei kompakteren Geometrien

eine einfachere Kompensationsfunktion zu verwenden und bei komplexeren bzw. filigraneren Geometrien eine komplexere Kompensationsfunktion. Somit kann auf vorteilhafte Weise der Rechenaufwand reduziert und somit die Effizienz der verwendeten Sinter- bzw. Schmelzvorrichtung erhöht werden.

5

Bei einer weiteren besonderen Ausführungsform wird nur für bestimmte Bereiche des herzustellenden Produkts die Kompensationsfunktion auf den Produktgeometriedatensatz angewendet. Bspw. wird nur für Verbinderbereiche einer herzustellenden dentalen Brücke als Zahnersatz die Kompensationsfunktion auf den Produktgeometriedatensatz angewendet. Bei derartigen herzustellenden Produkten hat sich nämlich gezeigt, dass sich besondere Spannungen in diesen Verbinderbereichen ergeben, während die Spannungen in den relativ kompakt ausgebildeten, einen Zahn repräsentierenden Bereichen die Effekte der temperaturbedingten Spannungen wesentlich weniger schwerwiegend ausfallen. Mit einer derartigen selektiven Anwendung der Kompensationsfunktion kann ebenfalls der Rechenaufwand reduziert und damit die Rechenleistung der verwendeten Vorrichtung besser ausgenutzt werden.

20 Besonders bevorzugt wird der Kompensationsdatensatz und/oder die Kompensationsfunktion anhand von wenigstens einem Parameter von einer Gruppe von Parametern ermittelt, die folgendes umfasst: den Elastizitätsmodul, die Solidustemperatur, den Wärmeausdehnungskoeffizienten, die Zugfestigkeit und die elastische Dehngrenze des Werkstoffs; eine Bearbeitungskammer-
25 temperatur, welche die Temperatur innerhalb einer den zu bearbeitenden Werkstoff umgebenden Bearbeitungskammer repräsentiert; eine Bearbeitungstemperatur, welche die Temperatur des vom hochenergetischen Strahl bestrahlten Bereichs des Werkstoffs repräsentiert; die Schichtdicke, welche die Dicke einer aufgebrachten Werkstoffschicht repräsentiert; die Leistung der
30 Strahlquelle, insbesondere des Lasers oder der Elektronenstrahlquelle, bzw. die Leistung des Strahls, insbesondere des Laserstrahls bzw. des Elektronenstrahls, während des Vorgangs des Sinterns bzw. Schmelzens; die Verfahrgeschwindigkeit des Strahls; die Bestrahlungsstrategie; die Geometrie und ins-

besondere die Höhe des herzustellenden Produkts sowie die Art einer etwaigen Nachbehandlung des Produkts nach dem Sintern bzw. Schmelzen. Es hat sich gezeigt, dass durch Berücksichtigung dieser Parameter bzw. eines Teils dieser Parameter eine substantielle Kompensation der fertigungstechnisch 5 bedingten Einflüsse erzielt werden kann.

Bei einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird während und/oder nach dem Bestrahlen einer Werkstoffschicht eine entstehende bzw. entstandene Kontur des Produkts optisch vermessen. Die auf diese Weise gewonnenen 10 Messdaten werden mit den Daten des Produktsollgeometriedatensatzes verglichen. Beim Feststellen einer Abweichung wird der Steuerungsdatensatz entsprechend der festgestellten Abweichung korrigiert. Durch ein derartiges optisches Vermessen des Produkts während seiner Entstehung und gleichzeitig vorgenommener Korrekturen der Steuerungsdaten kann die Genauigkeit 15 und Maßhaltigkeit des herzustellenden Produkts auf vorteilhafte Weise weiter verbessert werden.

Weitere bevorzugte Ausführungsformen ergeben sich aus den anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläuterten Ausführungsbeispiele. Es zeigt:

20

Fig. 1 eine schematische Schnittansicht einer Vorrichtung zum Herstellen von Produkten durch Freiform-Lasersintern und/oder -schmelzen gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung;

25

Fig. 2 eine schematische Schnittansicht zur Veranschaulichung des schichtweisen Aufbaus von mittels einer Vorrichtung gemäß Fig. 1 hergestellten Produkten gemäß einem idealen theoretischen Modell;

30

Fig. 3 eine Fig. 2 entsprechende schematische Darstellung eines real hergestellten Produktes;

Fig. 4 eine schematische seitliche Schnittansicht einer ersten lasergesinterten bzw. lasergeschmolzenen Schicht des herzustellenden Produktes,

das mittels mehrerer Stützen mit einer darunter liegenden Substratplatte verbunden ist;

Fig. 5 das Produkt aus Fig. 4 mit einer weiteren aufgebrachten Schicht;

5

Fig. 6 das Produkt aus Fig. 5, jedoch im von den Stützen abgetrennten Zustand und

10 Fig. 7 ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung der Verfahrensschritte eines Verfahrens zum Erzeugen von Steuerungsdatensätzen für den Laserstrahl gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung.

15 Fig. 1 zeigt eine Vorrichtung 1 zum Herstellen von metallischen und/oder nicht-metallischen Produkten 2, insbesondere von Dentalprodukten, wie z.B. Zahnkronen, -brücken, -implantaten etc., oder medizinischen Produkten, wie z.B. Prothesen, durch Freiform-Lasersintern und/oder -schmelzen. Die Vorrichtung 1 weist einen Tisch 3 mit einer höhenverstellbaren Plattform 4 auf, auf der eine Substratplatte 5 liegt. Die Plattform 4 ist über einen nicht dargestellten Antrieb in ihrer Höhe schrittweise, insbesondere in Abhängigkeit von 20 Pulverkörnern eines in Pulverform vorliegenden Werkstoffs 6 angepassten Schritten, verstellbar.

25 Die Vorrichtung 1 weist ferner einen oberhalb des Tisches 3 angeordneten Laser 7, beispielsweise einen CO₂-Laser, auf, dessen Strahl 8 durch eine geeignete Vorrichtung, insbesondere ein computergesteuertes Spiegelgalvanometer 9, geführt wird.

30 Die Vorrichtung 1 weist ferner einen Beschichtungsmechanismus 10 auf, mittels dessen der pulverförmige Werkstoff 6 gleichmäßig über die Oberfläche des Tisches 3 verteilt wird, so dass insbesondere der Raum zwischen der Oberfläche der Plattform 4 und der Oberfläche des Tisches 3 bis an die Oberfläche des Tisches 3 mit pulverförmigem Werkstoff 6 aufgefüllt wird.

Die Herstellung eines Produkts 2 verläuft wie folgt: Zunächst befindet sich die Plattform 4 in einer oberen Ausgangsposition. Sodann wird der Laser 7 aktiviert und sein Laserstrahl 8 auf den pulverförmigen Werkstoff 6 gerichtet. Der Laserstrahl 7 verfestigt und schmilzt aufgrund der von ihm erzeugten Hitze 5 den pulverförmigen Werkstoff 6, der - je nach Höhe der auf den pulverförmigen Werkstoff 6 aufgebrachten Energie - mit umgebenden Pulverkörnern gesintert bzw. verschmolzen wird. Der Laserstrahl 8 wird mittels eines Steuerungsdatensatzes geführt. Er bestrahlt entsprechend dieser Führung vorbestimmte Positionen des pulverförmigen Werkstoffs 6. An den vom Laserstrahl 10 8 bestrahlten Bereichen entsteht eine feste Schicht verschmolzenen oder gesinterten Werkstoffmaterials.

Sobald eine Schicht fertiggestellt ist, wird der Laser 7 deaktiviert und die Plattform 4 um eine Schichtdicke, die beispielsweise an den durchschnittlichen 15 Durchmesser der Pulverkörner des Werkstoffs 6 angepasst ist, abgesenkt. Mittels des Beschichtungsmechanismus 10 wird anschließend eine neue 20 Schicht pulverförmigen Werkstoffs 6 aufgetragen und glattgestrichen. Sodann wird der Laser 7 erneut aktiviert und der Laserstrahl 7 fährt erneut computer-gesteuert vorbestimmte Positionen ab, innerhalb derer der pulverförmige 25 Werkstoff 6 mit der zuvor erzeugten Schicht verschmolzen oder aufgesintert wird, oder auch an hieran angrenzende oder auch nicht-angrenzende Bereiche. Dieser Prozess des Auftragens von Schichten von pulverförmigem Ausgangsmaterial 6 und des Sinters bzw. Schmelzens dieser Schichten mit den zuvor aufgebrachten Schichten mittels des Laserstrahls 8 wird wiederholt durchgeführt, bis sich das Produkt 2 in der gewünschten Form ausgebildet hat.

Die Vorrichtung 1 weist eine Steuerung 11 auf, mittels derer insbesondere die Aktivierung und die Deaktivierung des Lasers 7 sowie die Positionierung des 30 Laserstrahls 8 über das Spiegelgalvanometer 9 und die Höhenverstellung der Plattform 4 gesteuert wird. Die Koordinierung dieser Komponenten der Vorrichtung 1 gewährleistet im wesentlichen die gewünschte Ausbildung der Produkte 2.

- Die Steuerung 11 weist Mittel zum Einlesen eines Datensatzes von Produkt-sollgeometriedaten auf, welche die Sollgeometrie des herzustellenden Produktes repräsentieren. Die Steuerung errechnet ausgehend von diesen Soll-
5 geometriedaten einen Steuerungsdatensatz, mittels dessen der Laserstrahl geführt wird. Beispielsweise weist dieser Steuerungsdatensatz Daten zur Ver-
stellung des Spiegelgalvanometers 10 auf, mittels dessen der Auftreffpunkt
des Laserstrahls 9 auf der obersten Schicht des Werkstoffs 6 bestimmt wird.
- 10 Die Steuerung 11 ermittelt des weiteren einen Kompensationsdatensatz und/oder eine Kompensationsfunktion von nachfolgend beschriebenen fertigungs-technischen Einflüssen, die beim Lasersintern bzw. Laserschmelzen auftreten. Diese Kompensationsdaten werden mit den Sollgeometriedaten verknüpft bzw. es wird die Kompensationsfunktion auf den Sollgeometrieda-
15 tensatz angewendet, um den vorstehend erläuterten Steuerungsdatensatz zu erzeugen. Auf diese Weise können die nachfolgend detaillierter beschriebe-
nen fertigungstechnischen Einflüsse des Lasersinterns bzw. Laserschmelzens bereits vor der Herstellung der Produkte 2 bzw. vor der Erzeugung der nächs-
ten zu bildenden Schicht des Produkts 2 berücksichtigt werden.
- 20 Fig. 2 dient zur Erläuterung eines ersten derartigen fertigungstechnischen Ein-
flusses. Fig. 2 zeigt einen Ausschnitt eines bereits lasergesinterten bzw. la-
sergeschmolzenen Produktes 2, das in mehreren Schichten 12, 13, 14, 15 herzustellen ist. Die Schichten 12 bis 15 sind jedoch nicht senkrecht überein-
anderliegend angeordnet, sondern jeweils gegeneinander versetzt. Durch den
25 entsprechenden Versatz ergibt sich eine Neigung einer an die Enden der Schichten angelegten tangentialen Ebene mit einem Winkel α gegenüber der Horizontalen, beispielsweise der Oberseite der Plattform 4.
- 30 In dem in Fig. 2 gezeigten Beispiel weisen die Schichten 12 bis 15 jeweils die gleiche Breite auf, so dass idealer Weise eine schräg gestellte Platte mit der Dicke d entsteht, die gegenüber der horizontalen Ebene den Winkel α ein-
nimmt.

Fig. 3 zeigt das in Fig. 2 theoretisch dargestellte Produkt bei einer praktischen Realisierung. Am rechten Ende der Schichten 13 bis 15, welche jeweils gegenüber der darunter liegenden Schicht 12 bis 14 jeweils um einen bestimmten Abstand versetzt sind, bilden sich während des Lasersinterns bzw. Laserschmelzens sogenannte Schmelzkugeln bzw. Schmelzkugelabschnitte 16, 17, 18. In diesen Bereichen aufgeschmolzener Werkstoff 6 erhitzt nämlich nicht nur exakt das Werkstoffpulver 6 innerhalb der Dicke einer Schicht 13, 14, 15, sondern auch das umgebende Werkstoffpulver 6, welches dabei aufgeschmolzen wird und in der flüssigen Phase nach unten fließt und dabei die Schmelzkugeln 16, 17, 18 bildet.

Die Schmelzkugeln 16 bis 18 führen zu einer vergrößerten Dicke d' gegenüber der in Fig. 2 dargestellten Dicke d .

Dieser fertigungstechnisch bedingter Einfluss auf die Dicke des herzustellenden Produkts ist u.a. abhängig von dem Neigungswinkel α . Je größer der Winkel α , das heißt der Winkel der tangentialen Ebene gegenüber der horizontalen Ebene ist, desto geringer ist die Verfälschung der Dicke d' gegenüber der in Fig. 2 dargestellten theoretischen Dicke d .

Fig. 4 bis 6 zeigen einen weiteren fertigungstechnisch bedingten Einfluss auf die Maßhaltigkeit des herzustellenden Produkts.

Fig. 4 zeigt mehrere Stützen 19, welche auf eine Substratplatte 5 aufgesintert worden sind, um darauf eine erste Schicht 20 eines herzustellenden Produktes 21 zu bilden. Diese erste Schicht weist eine Höhe h auf. Die Schicht 20 kühlt jedoch nach dem Aufschmelzen ab. Dadurch zieht sich die Schicht 20 infolge der Abkühlung entsprechend ihrem Wärmeausdehnungskoeffizienten zusammen. Die hieraus resultierende Schrumpfung der Schicht vollzieht sich jedoch im oberen Bereich der Schicht 20 im stärkeren Maße als im unteren Bereich der Schicht 20, da der untere Bereich der Schicht 20 infolge der Stützen 19 und damit infolge der Verbindung mit der Substratplatte 5 vergleichs-

weise starr und daher wesentlich weniger nachgiebig ist. Die obere Seite der Schicht 20 schrumpft jedoch am stärksten. Dies ist in Fig. 4 mittels der gestrichelten Linien an den seitlichen Enden der Schicht 20 dargestellt.

- 5 Fig. 5 zeigt, wie auf der bereits abgekühlten Schicht 20 eine weitere, zweite Schicht 22 aufgebracht worden ist, welche wiederum infolge der Abkühlung an ihren seitlichen Enden nach oben hin stärker schrumpft als in ihrem unteren Bereich.
- 10 Ein Produkt wird durch eine Vielzahl derartiger Schichten 20, 22 gebildet, die jeweils infolge der Abkühlung und infolge des Wärmeausdehnungskoeffizienten schrumpfen und daher Spannungen innerhalb des herzustellenden Produkts 21 erzeugen.
- 15 Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass in den Fig. 4, 5 und 6 die Breitenänderungen der Schichten infolge der Abkühlung nicht maßstabsgerecht und stark übertrieben dargestellt sind. Dies dient jedoch zur Veranschaulichung dieses fertigungstechnisch bedingten Einflusses.
- 20 Fig. 6 zeigt das Produkt 21 aus Fig. 5, nachdem die unterste Schicht 20 von den Stützen 19 abgetrennt worden sind, beispielsweise entlang der mit Punkten in Fig. 5 dargestellten Linie. Sobald das Produkt 21 von den Stützen 19 abgetrennt ist, verformt es sich infolge der vorstehend erläuterten Spannungen innerhalb der Schichten 20, 22. Das Produkt 21 wird an seinen seitlichen 25 Enden nach dem Abtrennen von den Stützen 19 nach oben gebogen.

Diese Biegung entspricht näherungsweise einer mit einem Polynom zweiten Grades zu beschreibenden Biegelinie.

- 30 Dieser Einfluss wird ebenfalls mittels des Kompensationsdatensatzes bzw. der Kompensationsfunktion korrigiert.

Eine Reihe von Parametern haben Einfluss auf die Abweichung eines praktisch hergestellten Produkts von seiner theoretischen Vorplanung. Es handelt sich hierbei insbesondere um folgende Parameter:

- 5 Den Elastizitätsmodul, die Solidustemperatur, den Wärmeausdehnungskoeffizienten, die Zugfestigkeit und die elastische Dehngrenze des Werkstoffs, die Temperatur innerhalb der Bearbeitungskammer während der Bearbeitung, die Temperatur des von dem Laserstrahl bestrahlten Bereichs des Werkstoffs 6, die Dicke der Schichten 12 bis 15, 20, 22, die Leistung des Laser 7 bzw. des
- 10 Laserstrahls 8 während des Lasersinterns bzw. -schmelzens, die Verfahrgeschwindigkeit des Laserstrahls 8, das heißt die Geschwindigkeit, mit der der Laserstrahl auf der Oberfläche des Werkstoffs 6 verfahren wird, die Bestrahlungsstrategie, das heißt in welcher Weise der Laser die vorbestimmten, zu bestrahlenden Punkte ggf. wiederholt anfährt, die Geometrie, insbesondere
- 15 Höhe des herzstellenden Produkts 2, 21 und die Art einer etwaigen Nachbehandlung des Produkts nach dem Lasersintern bzw. -schmelzen.

Die genannten Parameter haben unterschiedlichen Einfluss auf die Maßhaltigkeit des herzstellenden Produkts. Es ist daher - je nach der gewünschten Präzision des herzstellenden Produkts - nicht erforderlich, jeweils alle Parameter exakt zu bestimmen. Zwar werden die besten Ergebnisse erzielt, wenn alle Parameter berücksichtigt werden. Jedoch führt eine Berücksichtigung aller Parameter zu einem hohen Aufwand, was sich letztlich in deutlich höheren Produktkosten niederschlägt. Daher wird bei einem besonders bevorzugten Ausführungsbeispiel nur eine Auswahl der wichtigsten, das heißt einflussreichsten Parameter berücksichtigt.

Fig. 7 zeigt ein Flussdiagramm zur Veranschaulichung eines Verfahrens gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung. In einem ersten Schritt 23 werden von der Steuerung 11 die Sollgeometriedaten eines herzstellenden Produkts eingelesen. In einem weiteren Schritt 24 ermittelt die Steuerung 11 einen Kompensationsdatensatz und/oder eine Kompensationsfunktion. In einem weiteren Schritt 25 erfolgt eine Verknüpfung des Kompensationsdaten-

satzes und/oder eine Anwendung der Kompensationsfunktion auf die Sollgeometriedaten des Produkts zum Erzeugen eines Datensatzes zur Steuerung des Laserstrahls 8. In einem weiteren Schritt 26 wird der Laserstrahl 8 anhand dieses Steuerungsdatensatzes gesteuert bzw. geführt.

5

Bei einem besonderen Ausführungsbeispiel wird während des Lasersinterns bzw. Laserschmelzens in einem weiteren Schritt 27 das entstehende Produkt optisch vermessen. In einem folgenden Schritt 28 werden die auf diese Weise erhaltenen Messdaten mit den Sollgeometriedaten des Produkts verglichen. In 10 einem anschließenden Schritt 29 werden die Steuerungsdaten gemäß einer etwaig festgestellten Abweichung korrigiert, so dass der Laserstrahl dann anhand eines korrigierten Steuerungsdatensatzes gesteuert bzw. geführt wird.

Insgesamt hat die Erfindung erkannt, dass fertigungstechnisch gedingte Einflüsse des Lasersinterns bzw. Laserschmelzens auf die herzustellenden Produkte durch Manipulation der Steuerungsdaten des Laserstrahls kompensiert werden können und somit die Maßhaltigkeit der herzustellenden Produkte substanzial verbessert werden kann.

20 Vorstehend wurde die Erfindung zwar im Zusammenhang mit Lasersintern bzw. Laserschmelzen erläutert. Die Erfindung ist jedoch nicht auf die Verwendung eines Laserstrahls zum Sintern bzw. Schmelzen beschränkt. Statt eines Laserstrahls kann z.B. auch ein Elektronenstrahl verwendet werden. Daher kann der vorstehend beschriebene Laser ohne weiteres auch durch eine Elektronenstrahlquelle ersetzt werden. Allgemein bezieht sich daher die Erfindung auf jedwede Art eines Sinter- bzw. Schmelzvorgangs, der durch einen hochenergetischen Strahl aus einer entsprechenden Quelle für einen derartigen hochenergetischen Strahl erzeugt wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen von Steuerungsdatensätzen für die Herstellung von metallischen und/oder nicht-metallischen Produkten (2, 21), insbesondere Dentalprodukten oder medizinischen Produkten, durch Freiform-Sintern und/oder -Schmelzen mittels eines hochenergetischen Strahls (8), insbesondere Laser- oder Elektronenstrahls, wobei ein Produkt (2, 21) mittels dieses anhand eines Steuerungsdatensatzes geführten Strahls (8) aus einem schichtweise aufzubringenden Werkstoff (6) Schicht für Schicht (12-15, 20, 22) aufgebaut wird, wobei das Verfahren die Schritte des Einlesens (23) eines Produktsollgeometriedatensatzes, der die Sollgeometrie des herzustellenden Produkts (2, 21) repräsentiert, und des Erzeugens (25) des Steuerungsdatensatzes ausgehend von dem Produktsollgeometriedatensatz umfasst,
gekennzeichnet durch die weiteren Schritte des
Ermittelns (24) eines Kompensationsdatensatzes und/oder einer Kompensationsfunktion zur Kompensation von durch das Sintern und/oder Schmelzen bedingten fertigungstechnischen Einflüssen und
Verknüpfens (25) des Kompensationsdatensatzes und/oder Anwendens der Kompensationsfunktion auf den Produktsollgeometriedatensatz zum Erzeugen des Steuerungsdatensatzes aufweist.
2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Kompensationsdatensatz bzw. die Kompensationsfunktion in Abhängigkeit von der Größe und der Form des herzustellenden Produkts (2, 21) ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Kompensationsdatensatz bzw. die Kompensationsfunktion in Abhängigkeit von einem Neigungswinkel (α) einer tangential an einer äußeren Oberfläche des herzustellenden Produkts (2, 21) anliegenden

Ebene zu einer Bezugsebene, insbesondere horizontalen Ebene, ermittelt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
eine senkrecht zu dieser tangentialen Ebene bestimmte Dicke (d) des herzustellenden Produkts mittels des Kompensationsdatensatzes bzw. der Kompensationsfunktion in Abhängigkeit dieses Neigungswinkels (α) reduziert wird.
10
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Anspr點he,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Kompensationsfunktion stetig und differenzierbar ist.
- 15 6. Verfahren nach Anspruch 5,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Kompensationsfunktion ein Polynom zweiten, dritten, vierten und/oder höheren Grades aufweist.
- 20 7. Verfahren nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
für ein Produkt mehrere Kompensationsfunktionen verwendet werden,
die sich wenigstens teilweise hinsichtlich ihres Grades unterscheiden.
- 25 8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet, dass
für Bereiche eines herzustellenden Produkts mit einfacher Geometrie ein Polynom niedrigen Grades und für Bereich des herzustellenden Produkts mit komplexerer Geometrie ein Polynom höheren Grades verwendet wird.
30
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Anspr點he,
dadurch gekennzeichnet, dass

nur für bestimmte Bereiche des herzustellenden Produkts die Kompensationsfunktion auf den Produktgeometriedatensatz angewendet wird.

10. 10. Verfahren nach Anspruch 9,
5 dadurch gekennzeichnet, dass
nur für Verbinderbereiche einer herzustellenden Brücke als Zahnersatz
die Kompensationsfunktion auf den Produktgeometriedatensatz ange-
wendet wird.
- 10 11. 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Kompensationsdatensatz und/oder die Kompensationsfunktion
anhand von wenigstens einem Parameter von einer Gruppe von Pa-
rametern ermittelt wird, die folgendes umfasst:
15
 - den Elastizitätsmodul des Werkstoffs (6),
 - die Solidustemperatur des Werkstoffs (6),
 - den Wärmeausdehnungskoeffizienten des Werkstoffs (6),
 - die Zugfestigkeit des Werkstoffs (6),
 - die elastische Dehnungsgrenze des Werkstoffs (6),
20
 - eine Bearbeitungskammertemperatur, welche die Temperatur
innerhalb einer den zu bearbeitenden Werkstoff (6) umgebenden
Bearbeitungskammer repräsentiert,
 - eine Bearbeitungstemperatur, welche die Temperatur des von
dem Strahl (8) bestrahlten Bereichs des Werkstoffs (6) repräsen-
tiert,
25
 - eine Schichtdicke (d), welche eine Dicke einer aufzubringenden
bzw. aufgebrachten Werkstoffschicht (12-15, 20, 22) repräsen-
tiert,
 - die Leistung der Strahlquelle, insbesondere des Lasers (7) oder
30 der Elektronenstrahlquelle, bzw. die Leistung des Strahls, insbe-
sondere des Laserstrahls (8) bzw. des Elektronenstrahls, wäh-
rend des Vorgangs des Sinterns bzw. Schmelzens,
 - die Verfahrgeschwindigkeit des Strahls (8),

-
- die Bestrahlungsstrategie,
 - die Geometrie des herzustellenden Produkts (2, 21),
 - die Höhe des herzustellenden Produkts (2, 21), und
 - die Art einer etwaigen Nachbearbeitung des Produkts (2, 21)
- 5 nach dem Sintern bzw. Schmelzen.
12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
während und/oder nach dem Bestrahlen einer Werkstoffschicht (12-15,
10 20, 22) eine entstehende bzw. entstandene Kontur des Produkts (2,
21) optisch vermessen wird und die auf diese Weise gewonnenen
Messdaten mit den Daten des Produktsollgeometriedatensatzes vergli-
chen und beim Feststellen einer Abweichung der Steuerungsdatensatz
entsprechend der festgestellten Abweichung korrigiert wird.
- 15 13. Einrichtung zum Erzeugen von Steuerungsdatensätzen für die Herstel-
lung von metallischen und/oder nicht-metallischen Produkten (2, 21),
insbesondere Dentalprodukten oder medizinischen Produkten, durch
Freiform-Sintern und/oder -Schmelzen mittels eines hochenergetischen
20 Strahls (8), insbesondere Laser- oder Elektronenstrahl, und zur
Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 12,
wobei ein Produkt (2, 21) mittels dieses anhand eines Steuerungsda-
tensatzes führbaren Strahls (8) aus einem schichtweise aufbringbaren
Werkstoff Schicht für Schicht (12-15, 20, 22) aufbaubar ist,
25 wobei die Einrichtung (11)
 - Mittel zum Einlesen (23) eines Produktsollgeometriedatensatzes,
der die Sollgeometrie des herzustellenden Produkts (2, 21) rep-
äsentiert, und
 - Mittel zum Erzeugen (25) des Steuerungsdatensatzes ausge-
hend von dem Produktsollgeometriedatensatz aufweist,

30 gekennzeichnet durch
 - Mittel zum Ermitteln (24) eines Kompensationsdatensatzes
und/oder einer Kompensationsfunktion zur Kompensation von

- durch Sintern und/oder Schmelzen bedingten fertigungstechnischen Einflüssen und
- Mittel zum Verknüpfen (25) des Kompensationsdatensatzes und/oder Anwenden der Kompensationsfunktion auf den Produktsollgeometriedatensatz zum Erzeugen des Steuerungsdatensatzes.
14. Vorrichtung zur Herstellung von metallischen und/oder nicht-metallischen Produkten (2, 21), insbesondere Dentalprodukten oder medizinischen Produkten, durch Freiform-Sintern und/oder -Schmelzen mittels eines hochenergetischen Strahls (8), insbesondere Laser- oder Elektronenstrahls, wobei die Vorrichtung aufweist:
- eine Strahlquelle (7), insbesondere ein Laser oder eine Elektronenstrahlquelle, zum Erzeugen dieses Strahls (8),
 - eine Plattform (4) zur Aufnahme eines schichtweise aufbringbaren Werkstoffs (6) und
 - eine Steuerung (11) zum Steuern des Strahls (8), mittels derer der Strahl (8) datengesteuert geführt werden kann, um ein Produkt aus dem Werkstoff (6) Schicht für Schicht (12-15, 20, 22) aufzubauen,
- dadurch gekennzeichnet, dass die Steuerung (11) eine Einrichtung zum Erzeugen von Steuerungsdaten nach Anspruch 13 zum Führen des Strahls (8) aufweist.

1/4

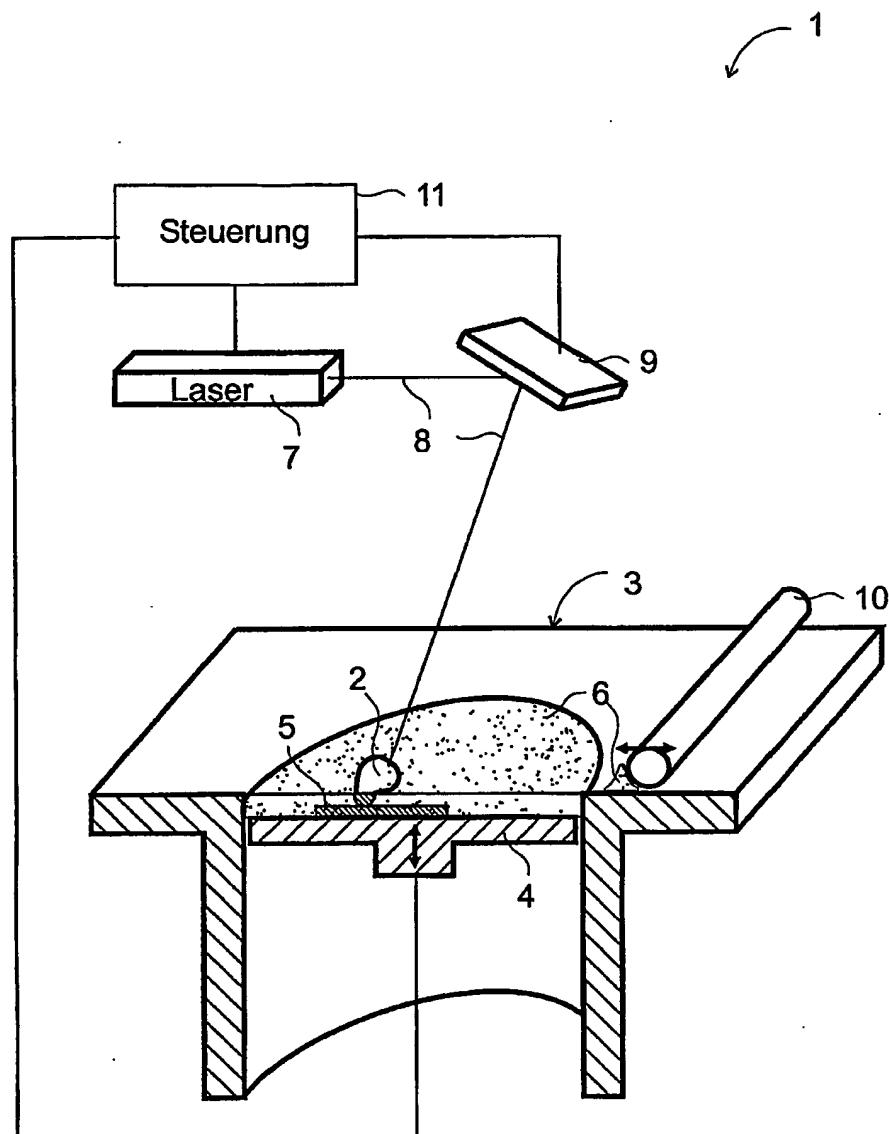


Fig. 1

2/4

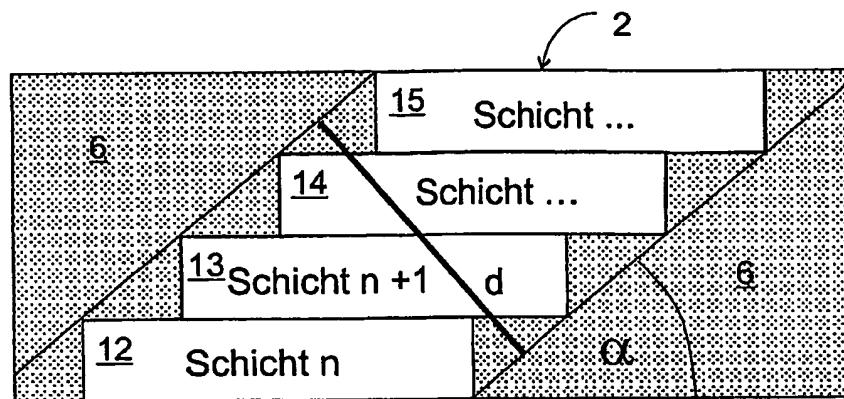


Fig. 2

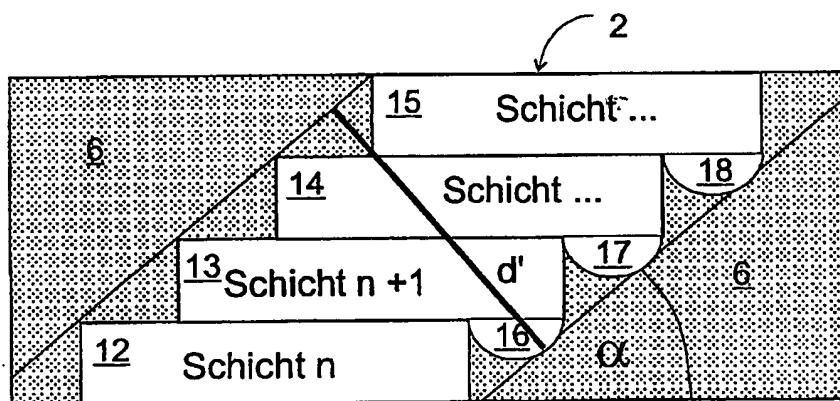


Fig. 3

3/4

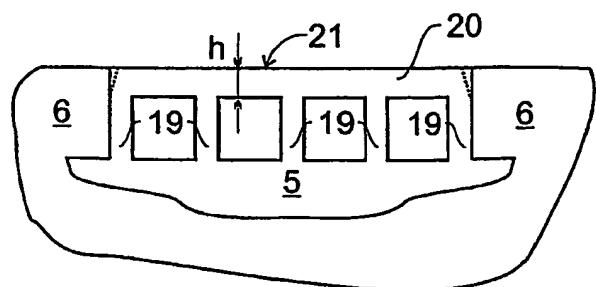


Fig. 4

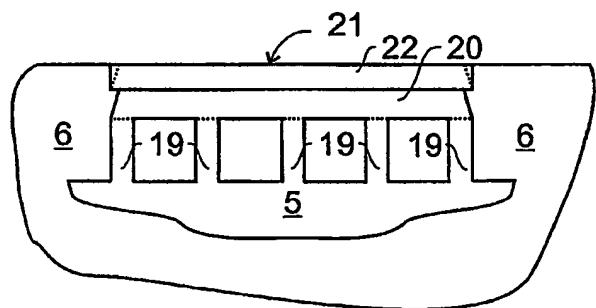


Fig. 5

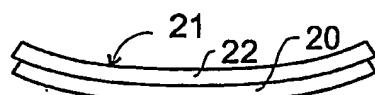


Fig. 6

4/4

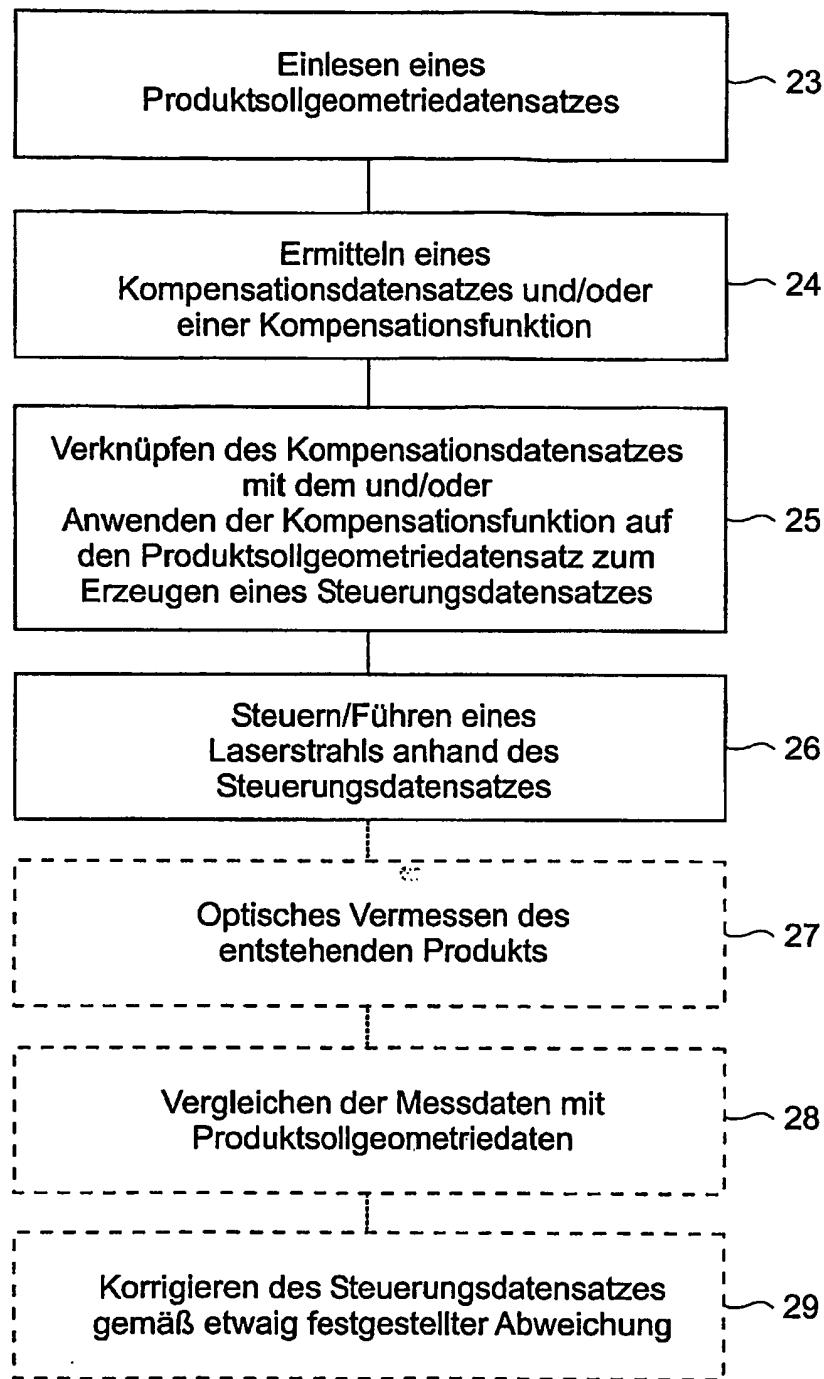


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/050668

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 B22F3/105 A61C13/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 B22F A61C A61F G05B B29C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2002/145213 A1 (LIU JUNHAI ET AL) 10 October 2002 (2002-10-10) paragraphs '0086!, '0087!, '0099!, '0102! - '0112! figure 6 -----	1-14
A	US 5 749 041 A (LAKSHMINARAYAN ET AL) 5 May 1998 (1998-05-05) column 4, line 63 - column 5, line 34 -----	1,2,11
A	US 5 555 481 A (ROCK ET AL) 10 September 1996 (1996-09-10) column 7, lines 14-57 figure 5 -----	1,2,11, 13
A	EP 1 021 997 A (BEGO BREMER GOLDSCHLAEGEREI WILH. HERBST GMBH & CO) 26 July 2000 (2000-07-26) paragraphs '0002!, '0005! -----	1,13,14

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the International filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

25 May 2005

Date of mailing of the International search report

01/06/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patenttaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Chabus, H

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No PCT/EP2005/050668

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)		Publication date
US 2002145213	A1	10-10-2002	NONE		
US 5749041	A	05-05-1998	AT	192055 T	15-05-2000
			AU	703099 B2	18-03-1999
			AU	7515796 A	30-04-1997
			CA	2234266 A1	17-04-1997
			DE	69607975 D1	31-05-2000
			DE	69607975 T2	17-08-2000
			EP	0854764 A1	29-07-1998
			JP	11513746 T	24-11-1999
			WO	9713601 A1	17-04-1997
US 5555481	A	10-09-1996	NONE		
EP 1021997	A	26-07-2000	DE	19901643 A1	20-07-2000
			CA	2295896 A1	19-07-2000
			EP	1021997 A2	26-07-2000
			US	2002187458 A1	12-12-2002
			US	2005056350 A1	17-03-2005

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/050668

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 B22F3/105 A61C13/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 B22F A61C A61F G05B B29C

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2002/145213 A1 (LIU JUNHAI ET AL) 10. Oktober 2002 (2002-10-10) Absätze '0086!, '0087!, '0099!, '0102! - '0112! Abbildung 6 -----	1-14
A	US 5 749 041 A (LAKSHMINARAYAN ET AL) 5. Mai 1998 (1998-05-05) Spalte 4, Zeile 63 - Spalte 5, Zeile 34 -----	1,2,11
A	US 5 555 481 A (ROCK ET AL) 10. September 1996 (1996-09-10) Spalte 7, Zeilen 14-57 Abbildung 5 -----	1,2,11, 13
A	EP 1 021 997 A (BEGO BREMER GOLDSCHLAEGEREI WILH. HERBST GMBH & CO) 26. Juli 2000 (2000-07-26) Absätze '0002!, '0005! -----	1,13,14

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchebericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- *&* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche	Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts
25. Mai 2005	01/06/2005
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Chabus, H

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2005/050668

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 2002145213	A1	10-10-2002		KEINE		
US 5749041	A	05-05-1998		AT 192055 T AU 703099 B2 AU 7515796 A CA 2234266 A1 DE 69607975 D1 DE 69607975 T2 EP 0854764 A1 JP 11513746 T WO 9713601 A1		15-05-2000 18-03-1999 30-04-1997 17-04-1997 31-05-2000 17-08-2000 29-07-1998 24-11-1999 17-04-1997
US 5555481	A	10-09-1996		KEINE		
EP 1021997	A	26-07-2000		DE 19901643 A1 CA 2295896 A1 EP 1021997 A2 US 2002187458 A1 US 2005056350 A1		20-07-2000 19-07-2000 26-07-2000 12-12-2002 17-03-2005